

Председателю
Объединенного диссертационного совета
по защите диссертаций 99.0.077.02
д.т.н., профессору
Дементьеву Вячеславу Борисовичу

426067, Ижевск,
ул. им. Татьяны Барамзиной, 34

ОТЗЫВ

официального оппонента

профессора факультета систем управления и робототехники
федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики»

доктора технических наук Федорова Алексея Владимировича
на диссертационную работу Брестер Альбины Фаритовны на тему: «Информативные
параметры акустического зеркально-теневого метода многократных отражений при
контроле пруткового металлопроката малых диаметров», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 –
Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и
природной среды (технические науки)

На отзыв представлены диссертация на 168 страницах машинописного текста
(163 страницы основного текста) и автореферат на 27 страницах.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка
использованных источников, включающего 238 наименований, и четырех
приложений. Оформление диссертации соответствует требованиям
ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Рассмотрение и анализ представленных материалов, а также опубликованных
работ по теме диссертации позволили сформулировать следующий отзыв на
диссертацию.

Актуальность темы диссертации

Повышение надежности ответственных деталей изделий машиностроения,
изготавливаемых из пруткового металлопроката малых диаметров, приобретает
особую актуальность в связи с ужесточением режимов их эксплуатации в условиях
высоких нагрузок и градиентов температур, воздействия агрессивных и

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»	
Вх. №	1409
Дата	24.11.2023

коррозионных сред и пр. Результативное применение методов и средств неразрушающего контроля (НК) для обнаружения (выявления) дефектов в прутковом металлопрокате, который выступает заготовками для изготавливаемых изделий, позволяет не только повысить надежность последних, но и снизить затраты ресурсов (материальных, временных и пр.), которые неизбежны при контроле разрушающими методами.

Традиционно для контроля пруткового проката используют вихретоковый, магнитный и акустический виды НК, которые преимущественно реализуются с применением автоматизированных средств. Однако результативность первых двух видов контроля ограничена не только группами выявляемых дефектов (поверхностные и подповерхностные), но и существенным образом зависит от влияния мешающих факторов, которые обусловлены электромагнитными свойствами объекта контроля. Использование эхо и зеркально-теневого методов ультразвукового контроля также имеет целый ряд ограничений и обеспечивает требуемую достоверность только на прокате диаметром от 30 мм.

Одним из перспективных подходов к дефектоскопии и структуроскопии пруткового проката малых диаметров является использование зеркально-теневого метода (ЗТМ) многократных отражений с применением для возбуждения и регистрации волн специализированных проходных электромагнитно-акустических (ЭМА) преобразователей. Следует также отметить, что, несмотря на имеющийся существенный научный и практический задел по исследованиям и разработкам в области НК с использованием ЭМА преобразователей и по вопросам акустической структуроскопии представителей ведущих научных школ, отечественных и зарубежных ученых, до сих пор отсутствуют научно обоснованные достоверные информативные параметры акустического ЗТМ многократных отражений, наиболее чувствительные к дефектам и структуре пруткового проката малых диаметров.

В связи с этим **тема диссертационной работы** Брестер А.Ф., посвященная повышению информативности электромагнитно-акустического ЗТМ многократных отражений за счет обоснования новых информативных параметров и исследованиям их чувствительности к дефектам и структуре пруткового металлопроката малых диаметров, **является своевременной и актуальной.**

Общая характеристика работы

Содержание работы построено в соответствии с решением поставленных задач.

Во введении автор обосновывает актуальность темы работы, определяет ее цель и задачи, освещает методы и средства исследования, достоверность и обоснованность полученных в работе результатов, раскрывает научную новизну,

теоретическую и практическую значимость результатов работы, формулирует основные научные положения, выносимые на защиту, приводит сведения об апробации результатов работы.

В первой главе диссертации проведены обзор различных видов пруткового проката и анализ технологий его изготовления, при этом особое внимание уделено различным типам дефектов пруткового проката, возникающих в процессе его изготовления и эксплуатации. Приведены результаты анализа неразрушающих методов контроля пруткового проката, которые показали, что одним из перспективных подходов к дефектоскопии и структуроскопии пруткового проката малых диаметров является ЗТМ многократных отражений с применением для возбуждения и регистрации волн проходных ЭМА преобразователей. Показано, что фактором, ограничивающим использование ЗТМ многократных отражений при контроле пруткового проката малых диаметров, является отсутствие достоверных информативных параметров, наиболее чувствительных к дефектам и структуре проката.

Во второй главе представлено решение задачи по исследованию закономерностей формирования акустического поля проходного ЭМА преобразователя поперечных волн. Приведены результаты теоретического исследования, проведенного на основе численного моделирования в программной среде COMSOL Multiphysics (модуль Structural Mechanics), которые показали, что: преобразователь формирует в цилиндре акустическую волну, ослабляющуюся по закону цилиндрического фронта; коэффициент фокусировки, определяемый соотношением амплитуды смещений в центре прутка к амплитуде на поверхности, увеличивается по логарифмическому закону с ростом частоты и по линейному закону с ростом диаметра и увеличением добротности преобразователя (длительности импульса); радиус фокусного пятна, определяемый радиусом зоны сужения эпюры смещений вблизи центра, уменьшается с частотой по степенному закону и не зависит от диаметра прутка, за исключением области низких частот; вне зоны фокусировки наблюдается достаточно равномерное распределение смещений по радиусу. Показано, что результаты моделирования подтверждаются экспериментальными данными, полученными с использованием экспериментальной установки собранной на основе структуроскопа электромагнитно-акустического СЭМА, а разработанная модель формирования зоны фокуса проходного ЭМА преобразователя может быть использована при анализе акустического тракта ЗТМ многократной тени в зависимости от характеристик объекта и параметров контроля.

В третьей главе представлены результаты решения задачи по экспериментальным исследованиям влияния характеристик искусственных дефектов пруткового проката на информативные параметры серии импульсов многократных отражений; а также задачи по исследованию возможности использования метода главных компонент для сокращения количества информативных параметров при определении обобщенной характеристики дефекта. Предложено в качестве информативных параметров использовать статистические параметры серии многократных переотражений сигналов во временной и спектральной областях (математическое ожидание, дисперсия, эксцесс, асимметрия, эксцесс, коэффициент выявляемости). Показано, что наиболее достоверной корреляцией с обобщенной характеристикой дефекта и наиболее высокой чувствительностью для потенцированного сигнала во временной области обладают параметры дисперсии и коэффициента выявляемости. Предложено для описания искусственных дефектов прутков при реализации ЗТМ многократных отражений использовать понятие «обобщенной характеристики дефекта», определяемой произведением глубины залегания дефекта на его диаметр, пронормированной на квадрат радиуса объекта. Показано, что использование метода главных компонент при анализе информативных параметров акустических сигналов многократного зеркально-теневого метода контроля пруткового проката позволило: уменьшить количество информативных параметров; проводить оценку эквивалентной обобщенной характеристики естественных дефектов, а также, что минимальные значения обобщенной характеристики имеют поверхностные трещины и внутренние дефекты малых размеров; большие значения соответствуют грубым поверхностным дефектам, а также дефекту, распределенному по внутреннему периметру прутка (скопление металлических включений).

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований по выявлению структурно-чувствительных параметров упругих волн в образцах легированной стали с различной термообработкой в условиях механических одноосных растягивающих напряжений в упругой и пластической областях, которые показали возможность определения абсолютных значений скоростей продольной и поперечной волн, упругих модулей и коэффициента Пуассона, акустоупругих коэффициентов, амплитуды ЭМА преобразования и их изменений в процессе деформирования. Показано, что механические свойства образцов удовлетворительно коррелируют со скоростями распространения поперечных и продольных волн и коэффициентами Пуассона, так, например, скорости распространения продольных и поперечных волн имеют минимальные значения в образцах из стали 40Х,

подвергшихся закалке, со структурой мартенсита; с увеличением температуры отпуска наблюдается увеличение скорости ультразвуковых волн в сравнении с закалкой: на 2,2% для продольных волн, на 1,1% для поперечных волн; с увеличением растягивающей нагрузки наблюдается снижение скорости распространения поперечных волн; при переходе от зоны упругих деформаций к зоне пластических деформаций наблюдается нелинейность в поведении кривой скорости от нагрузки, при этом коэффициенты акустоупругости увеличиваются; поведение кривой изменения скорости поперечной волны идентично поперечной деформации образца; чувствительность поперечных волн с осевой поляризацией к механическим напряжениям максимальна вследствие совпадения поляризации с направлением приложенной нагрузки; чувствительность продольных волн к растягивающей нагрузке в несколько раз меньше, чем для поперечных волн. Предложен способ определения коэффициента Пуассона, основанный на измерении разности времен пробега двух типов волн по одному участку, который позволяет отстроиться от погрешности измерения диаметра, имеющей место при измерении абсолютных значений скоростей, и может быть использован при оценке упругих модулей.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

В приложениях приведены акты об апробации и использовании результатов диссертационной работы, описание изобретения к патенту.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

На основе анализа состояния проблемы дефектоскопии и структуроскопии пруткового проката малых диаметров автор обоснованно и корректно сформулировал цель и взаимосвязанные задачи исследований.

Исследования проводились на основе применения теории упругости и акустики твердого тела, современных методов численного моделирования и численной обработки результатов экспериментальных исследований. Данный выбор является обоснованным и методически правильным.

В процессе исследований автором были получены следующие **результаты**:

1) разработана конечно-элементная модель формирования акустического поля проходного ЭМА преобразователя поперечных волн радиальных направлений с осевой поляризацией, на основе которой установлено влияние рабочей частоты и добротности импульса возбуждения и диаметра объекта контроля на коэффициент фокусировки и радиус фокусного пятна;

2) исследована чувствительность статистических параметров серии многократных отражений во временной и спектральной областях к дефектам с

использованием метода главных компонент при оценке эквивалентной обобщенной характеристики естественного дефекта применительно к пруткам различного диаметра и с различной эффективностью ЭМА преобразования;

3) исследованы зависимости влияния термообработки и растягивающих напряжений в области упругих и пластических деформаций в цилиндрических образцах из стали 40Х на скорости объемных волн радиальных направлений, упругие модули среды и эффективность ЭМА преобразования.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки задач исследований; применением теоретически и экспериментально обоснованных моделей и методов моделирования; результатами экспериментальных исследований и их сходимостью с результатами теоретического анализа; признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробировании материалов исследований на конференциях, а также внедрением результатов исследований.

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

1) впервые установлено, что проходящей ЭМА преобразователь поперечных волн осевой поляризации формирует сходящийся сферический фронт в радиальной плоскости сечения и близкий к плоскому фронт в осевой плоскости сечения, при этом коэффициент фокусировки увеличивается по логарифмическому закону с ростом частоты и по линейному закону с ростом диаметра; а радиус фокусного пятна уменьшается с частотой по степенному закону и не зависит от диаметра прутка, за исключением области низких частот.

2) впервые доказано, что наиболее высокой чувствительностью к дефектам обладают информативные статистические параметры дисперсии и коэффициента выявляемости серии многократных отражений при анализе для потенцированного сигнала и его спектра, а также доказана возможность использования метода главных компонент для сокращения количества информативных параметров при оценке эквивалентной обобщенной характеристики естественного дефекта применительно к пруткам различного диаметра и с различной эффективностью ЭМА преобразования;

3) впервые показано, что наиболее чувствительными к структуре, механическим свойствам и напряженно-деформированному состоянию легированных сталей в упругой и пластической областях являются: скорости поперечной и продольной волн осевой и радиальной поляризации, коэффициент Пуассона, коэффициент ЭМА преобразования, коэффициент акустоупругости.

4) разработан новый способ ультразвукового контроля электропроводящих цилиндрических объектов, обеспечивающий определение коэффициента Пуассона по

разности времен пробега двух типов волн по одному участку объекта, что позволяет отстроиться от погрешности измерения их диаметра.

Теоретическая ценность научных результатов диссертации характеризуется тем, что разработанные модель формирования акустического поля проходного ЭМА преобразователя поперечных волн радиальных направлений с осевой поляризацией и метод оценки эквивалентной обобщенной характеристики естественного дефекта, выявленные зависимости акустических характеристик стали 40Х от режимов термообработки и механических свойств проката в условиях упругих и пластических деформаций растяжения вносят вклад в развитие теоретических основ, совершенствование методов и приборов ультразвукового контроля металлов и изделий из них.

Практическая значимость выполненной диссертационной работы заключается в том, что применение научно обоснованных информативных параметров, обеспечивающих наибольшую чувствительность к дефектам, и способа определения упругих модулей и коэффициентов акустоупругости в области упругих и пластических деформаций (патент РФ № 2783297) позволяют выработать критерии браковки и проводить достоверный ультразвуковой контроль пруткового металлопроката малых диаметров.

Следует отметить, что основные теоретические и прикладные результаты работы ориентированы, в конечном счете, на повышение надежности металлических изделий, автоматизацию ультразвукового контроля и подготовку его для внедрения в цифровые информационные технологии. Основные результаты диссертационного исследования реализованы в ООО «НПЦ «Пружина», АО «ИОМЗ», ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», о чем свидетельствуют акты об их апробации (внедрении). Данные результаты в дальнейшем могут быть использованы при разработке автоматизированных систем ультразвукового контроля металлического проката.

Вместе с тем, исходя из анализа содержания текста диссертации и автореферата, диссертационная работа содержит ряд **недостатков и замечаний**:

1. Из текста диссертации неясно, каким образом получены выражения (2.10) – (2.23) с соответствующими коэффициентами, описывающие зависимость параметров фокусировки от геометрии объекта контроля и рабочей частоты. Оценивалась ли достоверность такой аппроксимации?

2. Чем обоснован выбор в качестве образцов с модельными дефектами прутков с диаметрами больше 30 мм (33 мм и 44 мм – таблица 3.1)?

3. Формула (4.12), описывающая определение систематической погрешности косвенных измерений скорости распространения ультразвука, и формула (4.13), описывающая определение случайной погрешности измерений скорости распространения ультразвука, записаны некорректно. В данных выражениях использованы «лишние» сомножители: в формуле (4.12) – t_{an} и \sqrt{n} , в формуле (4.13) – \sqrt{n} .

4. В текстах автореферата и диссертации присутствуют стилистически неправильные обороты («вращающаяся система», стр.22; «периметр цилиндра», стр.42; «зависимость от нагружения», рисунки 4.17 – 4.19; «удовлетворительное согласование результатов...», стр.56 и другие); а также погрешности представления материала (рисунок 2.9 – обозначения (а) и (б) поменяны местами; диаметр объекта обозначен в одной главе, как « d », « \emptyset », в другой – « x » (рисунок 2.9); символ «/» (слэш) в таблице 3.3 может быть истолкован как знак деления и т.д.

Приведенные выше недостатки и замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы.

Результаты исследований достаточно полно опубликованы в 18 печатных работах, из них 6 печатных работ в изданиях, рекомендуемых ВАК, переводные версии которых входят в базу данных Web of Science и Scopus, получен 1 патент на изобретение. В совместных работах вклад соискателя является определяющим. Достижения других авторов использованы корректно с указанием ссылок на конкретные публикации.

Содержание автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации и позволяет составить целостное представление о проделанной работе. Автореферат диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Материалы диссертации и автореферата диссертации изложены грамотно, логически последовательно и представлены в лаконичной форме.

Заключение

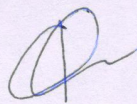
Диссертация Брестер Альбины Фаритовны является завершенной научно-квалификационной работой, в которой поставлена и решена актуальная научная задача повышения информативности электромагнитно-акустического зеркально-теневого способа многократных отражений за счет обоснования новых информативных параметров и исследования их чувствительности к дефектам и структуре пруткового металлопроката малых диаметров. Содержание диссертации отвечает требованиям паспорта научной специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды соответствует специальности» и удовлетворяет следующим пунктам по паспорту

специальности: п.1 «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды» и п.6 «Разработка математических моделей, алгоритмического и программно-технического обеспечения обработки результатов регистрации сигналов в приборах и средствах контроля и диагностики с целью автоматизации контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии».

По научному содержанию, глубине и полноте выполненных исследований, а также значимости и ценности полученных результатов, выводов и рекомендаций диссертация соответствует критериям п. 9, 10, 11, 12, 13, 14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «Положение о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Брестер Альбина Фаритовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки).

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор факультета систем управления и робототехники
Университета ИТМО

« 16 » ноября 2023 года



Федоров Алексей Владимирович

Почтовый адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49,
Телефон: +7(911) 925-18-86
Адрес электронной почты: avfedorov@itmo.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49
+7 (812) 232-23-07
od@mail.ifmo.ru

Подпись *Федорова А.В.*
удостоверяю
Менеджер ОПС
Дьячук Ю.А.

